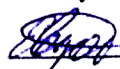


Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра информатики

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 / И.В. Евдокимов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

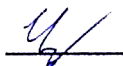
**НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**Система оценки качества программного обеспечения, охватывающая  
этапы разработки и использования библиотек функций**

09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных  
машин, комплексов и компьютерных сетей (компьютерные и  
информационные науки)

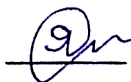
Научный руководитель



канд. тех. наук,  
доцент

Р.Ю. Царев

Аспирант



И.А. Якимов

Красноярск 2018

**Аннотация научно-квалификационной работы по теме  
диссертационного исследования:**

«Система оценки качества программного обеспечения, охватывающая  
этапы разработки и использования библиотек функций»

**Аспирант Якимов И. А.**

**Актуальность.** Разработка современного программного обеспечения предполагает большие затраты времени и финансовых ресурсов. В целях снижения затрат на создание отдельных программ разрабатываются библиотеки. Важнейшей составляющей жизненного цикла, как прикладных программ, так и библиотек является стадия оценки качества. В рамках данной работы задача оценки качества программ рассматривается с двух позиций:

1. Оценка качества реализации библиотек во время их *разработки*. В данном случае производится оценка поведения библиотечных функций для большого количества различных сценариев их использования;
2. Оценка качества прикладных программ, использующих сторонние библиотеки через соответствующий программный интерфейс. При этом должен учитываться конкретный алгоритм использования сторонней библиотеки, являющийся частью логики прикладной программы.

Таким образом, актуальной является задача автоматизации процесса оценки качества реализации библиотек во время их разработки, а также оценки качества реализации прикладных программ, использующих библиотеки. Под основными показателями качества при оценке реализации библиотек в данной работе понимаются: стабильность работы отдельных функций, а также соответствие реального поведения отдельных функций ожидаемому поведению, заложенному в спецификации библиотеки. При использовании библиотек на практике, в качестве показателя качества прикладного программного обеспечения рассматривается степень корректности алгоритма использования библиотечных функций.

Перспективным решением данной задачи видится система, которая с одной стороны позволяет автоматизировать процесс оценки качества реализации библиотек посредством автоматической генерации тестов по исходному коду, и с другой стороны позволяет автоматизировать процесс оценки качества алгоритмов использования библиотечных функций посредством классификации на основе машинного обучения.

**Объект и предмет исследования.** *Объектом* данного исследования является множество различных программных библиотек функций. *Предметом исследования* является процесс оценки качества программ в контексте разработки и использования библиотек функций.

**Цели и задачи диссертационной работы.** Целью данной работы является разработка системы, позволяющей повысить эффективность процесса оценки качества программного обеспечения на протяжении полного жизненного цикла библиотек – от разработки и до использования в составе пользовательских приложений. Для достижения выбранной цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести обзор существующих методов и средств оценки качества библиотек на основе исходного кода, а также методов и средств оценки качества алгоритмов использования библиотек в прикладных программах;
2. Разработать модель системы, позволяющей повысить эффективность процесса оценки качества как непосредственно библиотек, так и прикладных программ, которые их используют;
3. Реализовать компоненты предложенной системы в виде отдельных программ;
4. Произвести экспериментальное исследование разработанных компонентов, провести сравнительный анализ с существующими решениями в данной области.

**Научная новизна.** Следующие результаты, полученные в данной работе, представляют научную новизну:

1. Новая модель системы поддержки оценки качества программного обеспечения, повышающая эффективность процесса оценки качества программного обеспечения на этапах разработки и практического применения библиотек функций;

2. Новый метод улучшения читаемости автоматически сгенерированных тестов библиотечных функций, позволяющий существенно снизить время, необходимое на проведение проверки автоматически сгенерированных тестов человеком, на 15-20% в сравнении с аналогичными методами;

3. Новый метод оценки качества алгоритмов использования библиотек функций, позволяющий, в отличие от аналогов, не только определять названия пропущенных функций или методов, но и в автоматическом режиме определять факт наличия, либо отсутствия пропусков вызовов библиотечных функций относительно позиции других вызовов.

#### **Теоретическая и практическая значимость.**

В новой модели оценки качества программного обеспечения, охватывающей полный жизненный цикл библиотек, впервые объединены два подхода по автоматизации оценки качества программного обеспечения. С одной стороны — оценка качества реализации библиотек на этапе разработки, с другой стороны — оценка качества алгоритма использования библиотек в составе прикладных программ.

Разработанный метод улучшения читаемости автоматически сгенерированных тестов опирается на биграммную модель естественного языка и реализован в составе генератора тестов на базе динамических символьных вычислений. Теоретическая значимость данного метода состоит в том, что подход по оптимизации читаемости автоматически

сгенерированных тестов на основе использования биграммной модели естественного языка впервые применен для генерации тестов посредством динамических символьных вычислений, и ранее подобный подход был использован только при генерации тестов на основе мета-эвристического поиска. Данный метод может быть встроен в любой генератор, построенный на базе динамических символьных вычислений, при этом позволяя существенно снизить время, необходимое на проверку порождаемых тестов человеком. Данный метод был экспериментально исследован на наборе строковых функций ядра Linux.

Теоретически значимым также является предложенный в данной работе метод определения наличия пропущенных вызовов библиотечных функций. Благодаря новой архитектуре рекомендательной системы, построенной на основе рекуррентной нейронной сети, процесс определения наличия пропущенных вызовов функции, а также идентификации имен данных функций становится полностью автоматизированным и не требует явного указания мест пропусков кода. От пользователя, в данном случае, требуется на основе предоставленных системой данных принять решение о том, имел ли место пропуск, и какая функция действительно была пропущена. Данный метод реализован в составе новой системы оценки качества алгоритмов использования функций библиотеки OpenGL. В настоящий момент данная система может быть использована в целях содействия изучению библиотеки OpenGL на учебных примерах. Так как предложенный метод основан на алгоритмах машинного обучения, то он может быть применен к различным программным библиотекам, при условии возможности получения соответствующих наборов учебных выборок.

**Методология и методы исследования.** Методологическую основу диссертационной работы составляют:

1. Методы динамических символьных вычислений в применении к задаче

генерации тестов по исходному коду программы;

2. Методы построения, и поиска решений систем ограничений в рамках задачи разрешимости для логических формул, с учетом лежащих в их основе теорий;

3. Вероятностные модели естественного языка, в частности биграммная модель естественного языка на уровне отдельных символов;

4. Алгоритмы машинного обучения с учителем, в частности искусственные рекуррентные нейросети.

**Апробация работы.** Основные результаты обсуждались на следующих научных конференциях:

1. Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Молодежь и наука», г. Красноярск, 15–25 апреля 2014 г;

2. Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и наука: проспект Свободный», Красноярск, 14 апреля 2015 г. – 24 апреля 2015 г;

3. Открытая конференция ИСП РАН 2016, Москва, 1-2 декабря 2016 г;

4. Открытая конференция ИСП РАН 2017, Москва, 30-е ноября, 1-е декабря 2017.

**Основные положения, выносимые на защиту.** Далее приведены основные положения, выносимые на защиту:

1. Новая модель оценки качества программного обеспечения, охватывающая этапы разработки и использования библиотек функций;

2. Новый метод оптимизации читаемости автоматически сгенерированных тестов библиотечных функций. Реализация и экспериментальная проверка данного метода на наборе строковых функций

ядра Linux;

3. Новый метод оценки качества алгоритма использования библиотечных функций в коде прикладных программ. Реализация и экспериментальное исследование данного метода на наборе исходных кодов, содержащих примеры использования C API библиотеки OpenGL.

**Личный вклад.** Все представленные в диссертации результаты получены лично автором.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 7 научных работ, в том числе 4 научные статьи в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК. В работах [1-2] представлен разработанный автором метод улучшения читаемости тестов, порождаемых при символьных вычислениях. В статье [4] предложен метод обнаружения пропущенных вызовов библиотечных функций с использованием машинного обучения. В работе [3] предложенный генератор тестов с оптимизацией читаемости использован в контексте мультиверсионного программного обеспечения.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 6-ти глав, заключения и 1-го приложения. Полный объем диссертации составляет 102 страницы, включая 11 рисунков и 4 таблицы. Список литературы содержит 83 наименования.

В **первой главе** проводится обзор работ, имеющих непосредственное отношение к теме диссертационной работы. В конце главы существующие методы и результаты сопоставляются с методами и результатами, полученными в данной работе.

**Вторая глава** посвящена модели системы оценки качества программного обеспечения на этапах разработки и применения библиотек функций. В данной главе проведен общий обзор предложенной системы и рассмотрены базовые концепции.

В третьей и четвертой главах рассматривается метод оптимизации читаемости тестов, порождаемых при символьных вычислениях, а также метод обнаружения пропущенных вызовов библиотечных функций средствами машинного обучения.

В пятой и шестой главах проводится описание программной реализации предложенных в диссертации методов, описываются результаты проведенных экспериментальных исследований.

В заключении приведены выводы относительно проведенной работы, предложены возможные направления дальнейшего развития предложенных методов и возможности для дальнейшего улучшения соответствующих им программных реализаций.

#### **Работы автора по теме диссертации**

Работы, опубликованные в изданиях, рекомендуемых ВАК:

1. Якимов И.А., Кузнецов А.С. Гибридный подход к автоматизации модульного тестирования программ на языке Си // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 2-1. – С. 50-54;
2. Якимов И.А., Кузнецов А.С. Оптимизация читаемости тестов порождаемых при символьных вычислениях // Труды Института системного программирования РАН. – 2016 г. – № 28-5. – С. 227-238;
3. Грузенкин Д.В., Якимов И.А., Кузнецов А.С., Царев Р.Ю. Определение метрики диверсифицированности мультиверсионного программного обеспечения на уровне алгоритмов // Фундаментальные исследования. – 2017. – №. 6. – С. 36-40;
4. Якимов И.А., Кузнецов А.С. Поиск недостающих вызовов библиотечных функций с использованием машинного обучения // Труды Института системного программирования РАН, 2017 г. – № 29-6. – С. 117-132.



Работы, опубликованные в других изданиях:

5. Якимов. И.А., Кузнецов А.С. Автоматизация тестирования программ, разрабатываемых на небезопасных языках программирования (на примере языка Си) // М75 Молодежь и наука: сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края, [Электронный ресурс], № заказа 1644/отв. ред. О. А. Краев — Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2014;

6. Якимов. И.А., Кузнецов А.С. Прототип гибридной системы автоматизации тестирования на основе исходного кода и шаблонов // П827 Проспект Свободный-2015 : материалы науч. конф., посвященной 70-летию Великой Победы (15-25 апреля 2015 г.) [Электронный ресурс] / отв. ред. Е. И. Костоглодова. - Электрон. дан. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т. 2015;

7. Якимов И.А., Кузнецов А.С. Проблема цены проверки тестов человеком в контексте символьных вычислений (обзор иностранной литературы) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12 (часть 8) – С. 1391-1396.